Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 3, Fall. 2020, p. 341-355

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۳۵۵-۳۴۱

مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر کشت برنج (*Oriza sativa* L.) توأم با اردک بر عملکرد، بهره‌وری آب و کنترل علف‌های هرز در نظام‌های مختلف کشت

کامران منصورقناعی پاشاکی[1]، غلامرضا محسن‌آبادی[2*]، محمدحسن بیگلویی[3]، محمدباقر فرهنگی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۶

چکیده

تولید برنج توأم با پرورش اردک یک فناوری کشاورزی محسوب شده که می‌تواند سبب افزایش تولید برنج، کیفیت دانه و پایداری زیست‌محیطی در شالیزارها شود. بدین منظور آزمایشی برای بررسی تأثیر کاربرد توأم اردک در نظام‌های مختلف کشت برنج بر عملکرد محصول، بهره‌وری آب و کنترل فراوانی علف‌های هرز غالب شالیزاری مورد به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان اجرا شد. تیمارها شامل سه نظام مختلف کشت (متداول، بهبودیافته و SRI) به‌عنوان عامل اصلی و ترکیب دو سطح اردک (شاهد و ۷۵۰ قطعه در هکتار) و سه سطح کنترل علف‌هرز (شاهد، یک و دو بار وجین) به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج این تحقیق نشان داد که فراوانی و وزن خشک علف‌های هرز اویارسلام، سوروف، بندواش و تیروکمان آبی در تمام سطوح تیماری معنی‌دار بود. در کلیه نظام‌های کشت، کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار همراه با یک‌بار و دوبار وجین موجب کنترل کامل اویارسلام، سوروف، بندواش و تیروکمان آبی نسبت به شرایط عدم کاربرد اردک گردید. کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار نسبت به شرایط عدم کاربرد اردک در نظام‌های کشت متداول، بهبودیافته و SRI به‌ترتیب موجب افزایش ۲۱/۶۱، ۲۰/۸۰ و ۳۰/۸۴ درصد عملکرد شلتوک و نیز افزایش ۳۴/۸۰، ۳۳/۰۱ و ۳۸/۶۹ درصد بهره‌وری آب شد، در حالی‌که تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف کنترل علف‌هرز در کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار از نظر بهره‌وری آب دیده نشد. به‌طور کلی اردک با کنترل مناسب علف‌های هرز در مزرعه با تحرک و منقار زدن خود (موجب گل‌آلود شدن آب) و همچنین با اضافه کردن فضولات به شالیزار موجب افزایش رشد و نمو و بهبود شرایط رقابتی برنج شده و در نهایت باعث افزایش عملکرد برنج گردید. با توجه به نتایج این مطالعه، انجام یک بار وجین دستی اولیه جهت کنترل بهتر علف‌های هرز غالب در نظام کشت برنج SRI همراه با پرورش۷۵۰ قطعه اردک در هکتار می‌تواند برای بهبود نظام تولید برنج و افزایش بهره‌وری آب در شالیزارهای گیلان مناسب باشد.

واژه‌های کلیدی: برنج- اردک، رقم هاشمی، نظام‌کشت SRI، وجین

مقدمه

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت جهان که مطابق پیش‌بینی‌ها در پایان سال ۲۰۵۰ به حدود ۹ میلیارد نفر خواهد رسید، برای تغذیه این جمعیت عظیم، بالا بردن میزان تولید برنج در واحد سطح یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است (Dass *et al*., 2016). یکی از راهکارهای اصلی در کشاورزی پایدار، استفاده از نظام‌های کشت بهینه در اکوسیستم‌های زراعی با هدف افزایش دامنه سازگاری برنج با عمق غرقابی و درجه کنترل رطوبت (Vergara *et al*., 1965) و کاربرد اردک به‌همراه کنترل علف‌های هرز به‌منظور کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از علف‌کش‌ها و توسعهٔ کشاورزی سازگار با محیط‌زیست است (Lu *et al*., 2005).

سطح زیر کشت برنج (*Oryza sativa* L.) در ایران، ۵۸۰۰۰۰ هکتار و عملکرد آن ۴۷۴۵ کیلوگرم شلتوک در هکتار گزارش شده، در حالی‌که متوسط عملکرد برنج در دنیا ۴۶۷۸/۹ کیلوگرم شلتوک در هکتار بوده است (FAO, 2018). قطب تولید برنج ایران استان‌های گیلان، مازندران، گلستان، خوزستان و فارس است. سطح زیر کشت برنج در استان گیلان ۱۹۷۰۷۸ هکتار و عملکرد آن ۳۷۱۸ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Ministry of Agriculture, 2018).

مهم‌ترین نظام‌های کشت: نظام‌های نشاکاری (روش سنتی غرقاب)، کشت مستقیم غرقابی، کشت مستقیم هوازی و نظام آبیاری متناوب عنوان کرده‌اند. به هر حال براساس نوع رژیم آبیاری، سیستم‌های کشت برنج را می‌توان به سه دسته شامل سیستم کشت غرقابی (سنتی)، سیستم کشت هوازی و سیستم کشت آبیاری متناوب

۱- دانشجوی دکترای زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۳- دانشیار گروه آبیاری، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۴- استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mohsenabadi@guilan.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v18i3.86497

تقسیم‌بندی کرد (Rehman *et al*., 2012). باید توجه داشت که نظام‌های کشت سنتی و متداول از یک سو، با مشکلاتی نظیر؛ غرقاب نگه داشتن دائم شالیزار، افزایش فرسایش خاک، افزایش مقاومت آفات و عوامل بیماری‌زا و علف‌های هرز به سموم شیمیایی، افزایش آلودگی محیط‌زیست با مصرف بی‌رویه سموم و کودهای شیمیایی، کاهش تنوع زیستی و به خطر افتادن سلامت انسان مواجه بوده (Farooq *et al*., 2009) و از سویی دیگر، نیازمند نیروی کارگری زیاد، آب فراوان و انرژی بالا هستند که این موضوع ضرورت توجه به روش‌ها و نظام‌های جدید کشت را بیشتر کرده است (Singh *et al*., 2009). تغییر عمده ایجاد شده در نظام‌های جدید کشت برنج، تغییر در رژیم‌های آبیاری و مدیریت آن است، به‌نحوی که به‌جای غرقاب‌کردن دائم شالیزار، از روش‌های آبیاری متناوب استفاده شده و در روش نظام افزایش تولید برنج[1] (SRI) و کشت هوازی دیده می‌شود. از سوی دیگر تغییر اقلیم، تولیدکنندگان برنج را مجبور کرده است که از نظام کشت نشاکاری غرقابی به‌سمت نظام‌هایی با مزیت صرفه‌جویی در مصرف آب، نظیر آبیاری متناوب و کشت هوازی و خشکه‌کاری حرکت کنند (Rehman *et al*., 2012). در آزمایشی که به‌منظور مقایسه ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک برنج در دو نظام کشت متداول و SRI در هندوستان انجام شد، گزارش شد که عملکرد در نظام کشت SRI در مقایسه با نظام متداول ۴۸ درصد بیشتر بود. به اعتقاد این پژوهش‌گران علت بیشتر بودن عملکرد در نظام کشت SRI مربوط به بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک برنج در این نظام بود (Thakur *et al*., 2011). بررسی نتایج تحقیقات نشان داد که کاربرد روش‌های مؤثر در بهره‌وری آب، از جمله؛ نظام کشت SRI با توجه به بهبود مدیریت آبیاری در مزرعه از نظر جلوگیری از آب زهکشی و کاهش نفوذپذیری، کاهش پی‌آمدهای کشت متداول و افزایش حاصلخیزی خاک (وجود اردک) می‌توانند به میزان قابل‌توجهی بهره‌وری آب را افزایش دهند (Monaco and Sali, 2018). متوسط دامنه بهره‌وری آب برای برنج بین ۰/۷۴ تا ۱/۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شده است (Ahmad *et al*., 2014). پژوهشگران در تحقیقات خود گزارش دادند که بهره‌وری آب در کشت توأم ماهی- ذرت و ماهی- سبزی، ۲/۱۳ و ۸/۴۶ کیلوگرم بر متر مکعب است، اگرچه بهره‌وری آب در کشت توأم برنج- ماهی مستند نیست اما تصور بر این است که بهره‌وری آب را حداقل ۱۰ درصد افزایش دهد (Abdul-Rahman *et al*., 2011). از سویی دیگر، بهره‌وری آب در کشت‌های توأم به نوع نظام‌های کشت وابسته بوده و از این رو، بهره‌وری آب در کشت توأم برنج- ماهی بین ۰/۰۵ تا ۱ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شده است (Molden *et al*., 2010).

در حال حاضر یکی از مؤثرترین روش‌های کنترل علف‌های هرز در برنج، وجین دستی است (Wei *et al*., 2019). وجین دستی یکی از مهم‌ترین اجزای مدیریت علف‌های هرز بوده و با توجه به این‌که دست‌کاری خاک در هنگام اجرای شخم، امکان جوانه‌زنی گونه‌های زیادی از علف هرز را فراهم می‌کند، از این رو لزوم وجین مکانیکی یا وجین دستی برای از بین بردن گیاهچه‌های باقی‌مانده را آشکار می‌سازد. اما در بسیاری از کشورها انجام وجین دستی هزینه‌بر بوده و دسترسی به نیروی کار برای انجام آن مشکل است (Lamour *et al*., 2007). در نظام کشت برنج و پرورش اردک، برنج نقش اصلی را دارد و اردک یک جزء بسیار مهم است (Long *et al*., 2013). بررسی‌ها نشان داد که استفاده از اردک به‌عنوان عامل بیولوژیک در بهبود شرایط اکولوژیک رشد برنج، افزون بر افزایش تنوع زیستی، فعالیت موجودات زنده خاک، کارآیی انرژی و رشد رویشی برنج، باعث بهبود عملکرد برنج نیز می‌گردد (Lopes *et al*., 2011). اردک بسیاری از علف‌های هرز کوچک و در حال رشد را که در زیر سطح آب قرار دارند به همراه بذر آن‌ها در خاک، می‌خورد و با گل‌آلود نمودن آب، مانع از رسیدن نور کافی به سطح خاک شالیزار شده و در نتیجه از جوانه‌زنی و رشد مجدد علف‌های هرز در این مزارع به‌طور چشم‌گیری جلوگیری می‌کند (Flohre *et al*., 2011). در یک پژوهش تیمار تعداد اردک تأثیر بسیار معنی‌داری بر تراکم سوروف (*Echinochloa crus-galli*) و بندواش (*Paspalum distichum*) در شالیزار داشته است و کم‌ترین میزان تراکم علف‌هرز سوروف در تیمار ۸۰۰ اردک در هکتار و در ارقام طارم و شیرودی (بدون علف هرز سوروف) به‌دست آمد. همچنین تراکم ۸۰۰ اردک در هکتار نسبت به ۴۰۰ اردک در هکتار در رقم بومی طارم نسبت به ارقام پاکوتاه و اصلاح شده مورد ارزیابی در این آزمایش، جمعیت علف‌هرز بندواش را بیشتر تحت‌تأثیر قرار داده بود (Mohamadi *et al*., 2012). نظام برنج و اردک اثر کنترلی بهتری بر سل‌واش (*Monochoria varginalis*) داشت (Deng and Pen, 2008). در مطالعه‌ای ثابت شد که تاثیرات کنترل نظام برنج و اردک بر سل‌واش می‌تواند ۱۰۰ درصد باشد، در حالی‌که تأثیرات کنترل در تیر کمان آبی (*Sagittaria sagittifolia*) و جگن‌ها (*Carex*) به‌ترتیب ۶۲/۱۷ درصد و ۴۱/۹۷ درصد است (Yu *et al*., 2005). در همین راستا، بررسی تأثیر کاربرد اردک در کنترل علف‌های هرز در نظام‌های مختلف کشت شالیزاری به‌منظور افزایش عملکرد و بهره‌وری آب هدف تحقیق حاضر بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد اردک در کنترل علف‌های هرز در نظام‌های مختلف کشت شالیزاری به‌منظور افزایش عملکرد و بهره‌وری آب، پژوهشی به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تکرار طی دو سال زراعی

1- System of Rice Intensification

۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان با موقعیت عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۲۶ متر از سطح دریا اجرا شد. تیمارها شامل سه نظام مختلف کشت (متداول، بهبودیافته و SRI) به‌عنوان عامل اصلی و ترکیب دو سطح اردک (شاهد و ۷۵۰ قطعه در هکتار) و سه سطح کنترل علف‌هرز (شاهد، یک و دو بار وجین در مرحله پنجه‌زنی) به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان عامل فرعی بودند. جهت اجرای آزمایش، ابتدا شخم زمین زراعی تا عمق ۲۰ الی ۲۵ سانتی‌متر با دستگاه روتیواتور و عملیات گل‌خرابی با تیلر مطابق عرف کشاورزان منطقه انجام شد. جهت تعیین مقدار کود مصرفی، قبل اجرای آزمایش ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه با نمونه‌برداری از عمق صفر الی ۳۰ سانتی‌متری تعیین شد (جدول ۱). خصوصیات پیاده‌سازی نظام‌های مختلف کشت در جدول ۲ آمده است. در تمام کرت‌های مورد آزمایش، ۸۰ درصد کود توصیه شده و در نظام SRI پس از کسر مقادیر کود گاوی (نیتروژن: ۱۶؛ فسفر: ۶۴ و پتاسیم: ۴۰ کیلوگرم در هکتار) مصرف شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کود دامی مورد استفاده در جدول ۳ آمده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of soil used in the farm experiments

بافت خاک	اسیدیته	هدایت الکتریکی	کربن آلی	نیتروژن کل	نیتروژن معدنی	مواد مغذی کل	گوگرد	پتاسیم	فسفر	منیزیم	کلسیم
Texture	**pH**	**EC**	**O.C[1]**	**T.N[2]**	**M.N[3]**	**T.N.V[4]**	**S**	**K**	**P**	**Mg**	**Ca**
		$ds.m^{-1}$	%				$mg.kg^{-1}$				
Clay	6.51	0.465	2.42	0.12	35	9.2	0.12	169.4	3.4	4.3	10.2

جدول ۲- مقایسه نظام‌های مختلف کشت از نظر پیاده‌سازی

Table 2- Comparison of different planting systems in terms of implementation

خصوصیات نظام‌ها	Properties of Systems	Systems of planting / نظام‌های کشت		
		Conventional cultivation / کشت متداول	Improved cultivation / کشت بهبودیافته	SRI
بذر مصرفی	US	$1.2\ kg.m^{-2}$	$0.12\ kg.m^{-2}$	$0.04\ kg.m^{-2}$
زمان جوانه‌زنی تا انتقال	T_{GT}	25 DAG	20 DAG	15 DAG
زمان انتقال تا نشاکاری	T_{TT}	>300 min	<100 min	<30 min
تعداد گیاهچه در کپه	NSH	12-15	4-6	1
فاصله کپه	HS	variable intervals	25 cm × 25 cm	25 cm × 25 cm
عمق نشاکاری	PD	>5 cm	3-5 cm	1-2 cm
روش نشاکاری	PM	J method	J method	L method
روش آبیاری	IM	FF1	FF2	AI
کود شیمیایی	CF	$80:64:80\ NPK\ kg.ha^{-1}$	$80:64:80\ NPK\ kg.ha^{-1}$	$16:64:40\ NPK\ kg.ha^{-1}$
زمان کوددهی نیتروژن و پتاسیم	$T_{N\ and\ KA}$	1/3 at 0, 25 DAT and 95 DAG	1/3 at 0, 25 DAT and 95 DAG	1/3 at 0, 25 DAT and 95 DAG
زمان کوددهی فسفر	T_{PA}	7 DBT	7 DBT	7 DBT
کود دامی	MF	-	-	$6\ ton.ha^{-1}$
زمان کوددهی دامی	T_{MF}	-	-	first plowing

J method: Seedling planting is vertical, root tip is upward and root energy consumption for emergence is much; L method: Seedling planting is horizontal, root tip is along the ground and root energy consumption for emergence is low; IM: Irrigation method; FF1: Full flooding to 15 day before harvesting (3-5 cm water height); FF2: Full flooding to 15 day before harvest (3-5 cm water height), with a one-step drought in tillering until the appearance of capillary cracks; AI: Alternate irrigation, full flooding until 15 day after transplanting (3-5 cm water height), with a multiple-step drought until panicle initiation flooded with a thin layer water 1-2 cm to 15 day before harvest; CF: Chemical fertilizer; N: Nitrogen fertilizer from CH_4N_2O; P: Phosphorus fertilizer from P_2O_5; K: Potassium fertilizer from K_2O; $T_{N\ and\ KA}$: Time of nitrogen and potassium application; T_{PA}: Time of phosphorus application; DAG: Day after germination; DBT: Day before transplanting; 0 DAT: in transplanting time; 25 DAT: Tillering stage; 95 DAT: Milk stage; MF: Manure fertilizer (cow); T_{MF}: Time of manure fertilizer.

روش J: گیاهچه‌ها به‌طور مستقیم در زمین اصلی قرار داده شده، نوک ریشه‌ها در امتداد سطح زمین قرار گرفته و ریشه رو به بالا خم می‌شود؛ روش L: گیاهچه‌ها را به‌طور مستقیم در زمین اصلی نشاکاری نشده، بلکه هر گیاهچه از پهلو، بسیار ملایم و نزدیک به سطح، به‌درون خاک وارد شده و بدین ترتیب ریشه‌ها به‌طور افقی در خاک مرطوب قرار می‌گیرند؛ غرقاب ۱: در تمام طول فصل رشد به صورت غرقاب (۵-۳ سانتی‌متر عمق آب) تا ۱۵ روز قبل از برداشت؛ غرقاب ۲: در تمام طول فصل رشد به‌صورت غرقاب (۵-۳ سانتی‌متر عمق آب) تا ۱۵ روز قبل از برداشت، همراه با یک دوره خشکی تا رسیدن به ترک‌های موئین در زمان حداکثر پنجه‌زنی؛ متناوب: تا ۱۵ روز پس از نشاکاری به‌صورت غرقاب دائم و پس از آن تا زمان گلدهی به‌صورت آبیاری متناوب و پس از گلدهی به میزان یک سانتی‌متر آب تا ۱۵ روز قبل از برداشت.

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کود دامی اعمال شده در آزمایش مزرعه‌ای

Table 3- Physical and chemical properties of manure fertilizer used in farm experiments

کود گاوی	اسیدیته	هدایت الکتریکی	کربن آلی	نیتروژن کل	نیتروژن معدنی	ارزش غذایی کل	گوگرد	پتاسیم	فسفر	منیزیم	کلسیم
Manure	**pH**	**EC**	**O.C[1]**	**T.N[2]**	**M.N[3]**	**T.N.V[4]**	**S**	**K**	**P**	**Mg**	**Ca**
		$ds.m^{-1}$	%				$mg.kg^{-1}$				
Cow	7.37	3.6	50.37	1.35	184	28.5	2300	8900	500	40.4	50

طول هر کرت آزمایشی ۴/۵ متر و عرض ۴ متر بود. فاصله بین کرت‌ها و بین تکرارها به‌ترتیب یک و ۲ متر در نظر گرفته شد. خزانه‌گیری در هر سه نظام به‌طور هم‌زمان با استفاده از رقم بومی هاشمی انجام شد. جهت اعمال تیمار اردک، تعداد ۷۵۰ قطعه جوجه اردک در هکتار در نظر گرفته شد. زمان رهاسازی جوجه اردک‌ها در مزرعه، ۲۰ روز پس از انتقال گیاهچه‌ها در شالیزار و در مرحله پنجه‌زنی بود (Long *et al*., 2013).

در زمان رهاسازی، جوجه اردک‌ها ۲۰ روزه بوده و پس از مدت ۵۰ روز در مرحله ظهور خوشه از مزرعه خارج شدند. برای حفاظت از اردک‌ها و همچنین برای جداسازی بلوک‌ها و کرت‌ها، اطراف شالیزار و کرت‌ها با توری پلاستیکی محصور و از یکدیگر جدا شد. در پایان مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی عملیات برداشت صورت گرفت و بر حسب رطوبت ۱۴ درصد، عملکرد اندازه‌گیری شد. مقدار آب آبیاری در هر نوبت به‌وسیله کنتور با دقت ۰/۱ لیتر اندازه‌گیری شد. ارتفاع آب در طول دوره رشد گیاه ۲ الی ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Uphoff, 2005). میانگین حجم آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه در تیمارهای مورد نظر (در سطح تیمارهای کنترل علف‌های هرز حجم آب مصرفی یکسان بود) در سال اول و دوم آزمایش در جدول ۴ آمده است.

مجموع میزان بارندگی در طول دوره رشد گیاه در سال اول و دوم آزمایش به‌ترتیب برابر با ۱۶۰/۵ و ۲۵۴/۲۰ میلی‌متر بود و بارندگی در سال اول طی دوره گلدهی حادث نشد و مجموع بارندگی طی دوره گلدهی در سال دوم ۵۳/۶ میلی‌متر بود (ایستگاه هواشناسی کشاورزی، رشت).

جدول ٤- میانگین حجم آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه در تیمارهای مورد نظر در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ (در سطح تیمارهای کنترل علف‌های هرز حجم آب مصرفی یکسان بود).

Table 4- The average volume of water consumed during the growing period of the plant in the intended treatments in 2018 and 2019 (the volume of water consumption was the same at the level of Weed control treatments).

نظام‌های کشت PS	اردک D	کنترل علف‌هرز W		Volume Water ($m^3.ha^{-1}$) حجم آب مصرفی 2018 (۱۳۹۷)	Volume Water ($m^3.ha^{-1}$) حجم آب مصرفی 2019 (۱۳۹۸)
نظام متداول CC	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	11933.083	11921.111
		Once	یک‌بار وجین		
		Twice	دوبار وجین		
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 $No.ha^{-1}$	Control	شاهد	9931.889	9923.519
		Once	یک‌بار وجین		
		Twice	دوبار وجین		
نظام بهبود یافته IC	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	11538.741	11324.667
		Once	یک‌بار وجین		
		Twice	دوبار وجین		
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 $No.ha^{-1}$	Control	شاهد	9770.767	9753.685
		Once	یک‌بار وجین		
		Twice	دوبار وجین		
SRI	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	8015.970	8002.056
		Once	یک‌بار وجین		
		Twice	دوبار وجین		
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 $No.ha^{-1}$	Control	شاهد	7114.515	7102.531
		Once	یک‌بار وجین		
		Twice	دوبار وجین		

به‌منظور تعیین بهره‌وری آب بر پایه عملکرد شلتوک، از تقسیم میزان دانه تولید شده از هر کرت به مقدار کل آب مصرفی انشعاب شده از کانال سر مزرعه در طول دوره رشد گیاه برای تولید دانه بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Sepaskhah *et al*., 2006).

$$WP=PY/VW \quad (۱)$$

در این رابطه، WP: بهره‌وری آب، PY: عملکرد شلتوک و VW: حجم آب مصرفی است. در زمان برداشت برنج، جهت تعیین میانگین فراوانی علف‌های هرز از کادر ۰/۲۵ متر مربع (۰/۵ × ۰/۵ متر) استفاده گردید و در هر کرت جمعیت انواع علف‌های هرز شمارش شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌های علف‌هرز تا رسیدن به وزن ثابت در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار گرفت و وزن آن‌ها بر حسب گرم محاسبه شد.

داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ تجزیه شد. قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، تست نرمال بودن داده‌ها انجام گرفته و پس از اطمینان از توزیع نرمال باقی‌مانده‌ها، تجزیه واریانس از طریق مدل خطی عمومی (GLM) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد احتمال استفاده شد. در مواقعی که اثر متقابل دوگانه معنی‌دار شد، برای تفسیر بهتر نتایج و برای جلوگیری از مقایسه میانگین‌های طولانی و پیچیده، برش‌دهی فیزیکی برای اثرات دو و سه‌گانه انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد و بهره‌وری آب بر پایه شلتوک

میانگین داده‌های عملکرد شلتوک در سطوح تیماری سال، نظام‌های کشت، اردک، کنترل علف‌های هرز، برهمکنش نظام‌های کشت و اردک و برهمکنش اردک و کنترل علف‌های هرز در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۵). بهره‌وری آب از نظر نظام‌های مختلف کشت، اردک، کنترل علف‌هرز، برهمکنش‌های نظام‌های کشت و اردک، و اردک و کنترل علف‌هرز در سطح احتمال یک درصد و از نظر سال و برهمکنش نظام‌های کشت و کنترل علف‌هرز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های عملکرد شلتوک در برهمکنش نظام‌های کشت و اردک نشان داد که کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار نسبت به شرایط عدم کاربرد اردک در نظام‌های کشت متداول، بهبود یافته و SRI به‌ترتیب موجب افزایش ۲۱/۶۱، ۲۰/۸۰ و ۳۰/۸۴ درصدی عملکرد شلتوک شد (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثرات کشت توأم برنج-اردک در نظام‌های مختلف کشت بر عملکرد، فراوانی علف‌های هرز و بهره‌وری آب در برنج

Table 5- Analysis of variance (mean squares) for the effects of rice-duck cultivation in different planting system on yield, weed abundance and water productivity in Rice

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی d.f	عملکرد شلتوک Paddy yield	بهره‌وری آب Water productivity	تعداد اویارسلام No. Umberella sedge	تعداد سوروف No. Barnyard grass	تعداد بندواش No. Knot weed	تعداد تیر و کمان آبی No. Arrow leaf
سال (Y)	1	922312.88**	0.01*	9532.73**	5053.55**	127.50**	1.06ns
Error (Y) خطای سال	4	73896.00	0.001	114.23	45.63	15.74	0.26
نظام‌های کشت (PS)	2	3145533.57**	0.51**	128350.37**	9895.78**	105.38**	22.67**
Y×PS	2	7349.25ns	0.00ns	1876.06*	284.53ns	1.84ns	0.11ns
Error (A) خطای اصلی	8	420593.50	0.005	161.58	347.66	16.62	0.16
اردک (D)	1	31411752.31**	0.89**	512218.69**	95911.41**	9045.32**	98.98**
PS×D	2	1203303.00**	0.04**	118151.50**	5579.95**	170.21**	8.35**
کنترل علف‌هرز (W)	2	8245936.19**	0.08**	19729.99**	52327.07**	3584.55**	14.47**
PS×W	4	448243.38ns	0.008*	1374.95ns	4342.17**	243.84**	7.54**
D×W	2	4059524.01**	0.03**	15788.94**	42969.40**	3268.13**	13.79**
PS×D×W	4	520347.69ns	0.005ns	2602.46**	3803.46**	338.32**	2.73**
Y×D	1	976.79ns	0.0001ns	7772.76**	2429.04**	121.84**	2.36*
Y×PS×D	2	4486.30ns	0.00002ns	1655.32ns	45.73ns	2.03ns	0.14ns
Y×W	2	6013.22ns	0.00009ns	504.22ns	726.08ns	43.99*	0.01ns
Y×PS×W	4	1180.89ns	0.00002ns	25.14ns	23.70ns	2.80ns	0.18ns
Y×D×W	2	946.91ns	0.00001ns	362.06ns	281.76ns	40.77*	0.34ns
Y×PS×D×W	4	974.00ns	0.00001ns	35.24ns	128.47ns	3.23ns	0.11ns
Error (B) خطای باقی‌مانده	60	217236.67	0.002	599.21	280.95	10.02	0.51
CV (%) ضریب تغییرات (درصد)	-	12.22	12.77	33.23	46.45	33.59	49.60

*, Significant at the 0.05 probability levels. **, Significant at the 0.01 probability levels. ns, not significant

*، معنی‌داری در سطح پنج درصد، **، معنی‌داری در سطح یک درصد، ns، غیر معنی‌دار

جدول ٦- مقایسه میانگین عملکرد شلتوک و بهره‌وری آب در برهمکنش نظام‌های کشت و اردک (برش‌دهی در سطح نظام‌های کشت)

Table 6- Means comparison of the paddy yield and water productivity in interaction of planting system and duck (slice in planting system levels)

نظام‌های کشت Planting systems	اردک Duck	عملکرد شلتوک Paddy Yield (kg.ha^{-1})	بهره‌وری آب Water Pproductivity (kg.m^{-3})
Conventional Cultivation کشت متداول	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	3097.23±196.06^{b}	0.25945±0.016^{b}
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha^{-1}	3951.05±134.23^{a}	0.39797±0.013^{a}
Improved Cultivation کشت بهبود یافته	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	3355.50±167.27^{b}	0.29078±0.014^{b}
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha^{-1}	4236.98±87.97^{a}	0.43408±0.009^{a}
SRI	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	3364.46±225.71^{b}	0.41900±0.027^{b}
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha^{-1}	4864.99±87.69^{a}	0.68341±0.012^{a}

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

میانگین±خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد ازمون LSD غیر معنی‌دار هستند.

مقایسه میانگین عملکرد برنج در برهمکنش اردک و کنترل علف‌های هرز نیز نشان داد که در شرایط عدم کاربرد اردک، یک‌بار و دوبار کنترل علف‌هرز به‌ترتیب موجب افزایش ۲۷/۸۸ و ۴۰/۱۲ درصد عملکرد شلتوک شد، در حالی‌که، در شرایط کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار تفاوت معنی‌داری بین دفعات کنترل علف‌هرز نسبت به شاهد مشاهده نگردید (جدول ۷). بیشترین میزان بهره‌وری آب در سال اول (۰/۴۲۴۹۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب) دیده شد که ۵/۱۰ درصد نسبت به سال دوم افزایش داشت (جدول ۸). با توجه به داده‌های هواشناسی، باید دقت داشت که به‌دلیل وقوع بارندگی در زمان گلدهی در سال دوم، عمل تلقیح و باروری گل‌ها با نقصان مواجه شده و در نتیجه پوکی دانه‌ها افزایش یافت. کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار نسبت به شرایط عدم کاردبرد اردک در نظام‌های کشت متداول، بهبود یافته و SRI به‌ترتیب موجب افزایش ۳۴/۸۰، ۳۳/۰۱ و ۳۸/۶۹ درصد بهره‌وری آب شد (جدول ۶). در نظام‌های کشت متداول و بهبود یافته، بین یک‌بار و دو بار کنترل علف‌هرز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و بیشترین مقادیر بهره‌وری آب در دوبار کنترل علف‌های هرز به‌ترتیب (۰/۳۵۸۹۳ و ۰/۳۹۱۸۶ کیلوگرم بر متر مربع) دیده شد. در نظام کشت SRI بیشترین میزان بهره‌وری آب در دوبار کنترل علف‌هرز (۰/۶۳۳۴۷ کیلوگرم بر متر مربع) دیده شد که ۱۶/۱۹ و ۲۲/۷۶ درصد نسبت به یک‌بار کنترل علف‌هرز و شاهد افزایش داشت (جدول ۹). تفاوت معنی‌داری از نظر بهره‌وری آب بین سطوح مختلف کنترل علف‌هرز در کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار دیده نشد، این در حالی است که در شرایط بدون کاربرد اردک، بیشترین میزان بهره‌وری آب در دوبار کنترل علف‌هرز (۰/۴۰۲۰۷ کیلوگرم بر متر مربع) دیده شد که نسبت به یک‌بار کنترل علف‌هرز و شاهد به‌ترتیب ۱۹/۱۳ و ۳۹/۸۰ درصد افزایش داشت (جدول ۷).

پژوهشگران در بررسی کشت توأم اردک- برنج به این نتیجه رسیدند که در کرت‌های دارای اردک درصد عملکرد شلتوک نسبت به کرت‌های بدون اردک بیشتر بوده است (Liang *et al.* 2014; Sheng *et al.* 2018). فرآیندهای ناشی از حضور اردک در شالیزار؛ اردک با مصرف بذر علف‌های هرز، حشرات و دفع فضولات، عرضه مواد غذایی را برای رشد گیاه فراهم کرده که سبب افزایش فتوسنتز، زیست‌توده و بهبود وضعیت اقلیم خرد می‌گردد (Long *et al.* 2013; Zhang *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2019).

حرکت و نوک زدن اردک سبب بر هم زدن خاک و افزایش اکسیژن (Zhang, 2013)، کاهش هدررفت نیتروژن و فسفر از طریق کاهش دنیتریفیکاسیون و افزایش نیتریفیکاسیون، افزایش تعداد و فعالیت جمعیت میکروبی خاک از جمله باکتری‌های هوازی و بی‌هوازی؛ افزایش تعداد باکتری‌های ازتوباکتر[1]، آزسپرلیوم[2] و فسفوباکتر[3]، افزایش فعالیت قارچ‌های مایکوریزا[4] و پروتوزوآ[5]، افزایش ترشح هورمون‌های گیاهی توسط ریشه برنج، ثتبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط میکروارگانیسم‌های خاک (Yang *et al.* 2018; Randriamiharisoa *et al.*, 2007) و تحریک مکانیزم‌های فیزیولوژیک گیاه از طریق افزایش حجم ریشه، افزایش میزان کلروفیل برگ، افزایش فتوسنتز و تجمع ماده خشک، افزایش سرعت نمو فیزیولوژیک و کاهش فیلوکرون، افزایش شاخص سطح برگ، کاهش ضریب استهلاک نوری، افزایش راندمان جذب و متابولیسم عناصر غذایی، افزایش مقدار پروتئین محلول، افزایش مقدار و فعالیت

1- *Azotobacter*
2- *Azospirillum*
3- *Phosphobacteria*
4- *Mycorrhizal fungi*
5- *Protozoa*

آنزیم نیترات رداکتاز شده (Randriamibarisoa, 2002) و در نهایت این تغییرات، در میزان پروتئین محلول، پرولین و سایر مواد تنظیم‌کننده اسمزی و فعالیت‌های آنزیمی روی می‌دهد (Huang *et al*. 2012).

نتایج مقایسه دو نظام کشت متداول و SRI بیان‌گر آن بود که بیشترین عملکرد شلتوک و کم‌ترین درصد پوکی در نظام SRI مشاهده گردید و مدیریت آب نیز در این نظام بالاتر از نظام کشت متداول حاصل شد (Nayak and Biswal, 2018). در صورتی که نتایج بررسی نظام کشت SRI نشان داد که، بسیاری از ویژگی‌های فیزیولوژیک برنج از جمله عملکرد شلتوک در این نظام افزایش یافته و به‌علت توسعه بیشتر ریشه‌ها و بهبود کارآیی فیزیولوژیک گیاه، میزان جذب و کارآیی مصرف نیتروژن نیز افزایش می‌یابد (Thakur *et al*., 2011; Styger *et al*., 2011). سایر محققین نیز در این زمینه دریافتند که روش آبیاری متناوب حدود ۳۸ درصد مصرف آب آبیاری شالیزار را بدون کاهش عملکرد و سود کشاورزان، کاهش داده است (Roderick *et al*., 2011). بررسی‌ها نشان داد که با کاهش حدود ۵۰ درصدی در مصرف آب در روش SRI، نه‌تنها کاهش عملکرد شلتوک به‌وجود نیامد بلکه افزایش بهره‌وری آب نیز نسبت به روش‌های کشت متداول و توصیه شده ایجاد کرد (Kumar *et al*., 2019).

جدول ۷- مقایسه میانگین عملکرد شلتوک و بهره‌وری آب در برهمکنش اردک و کنترل علف‌های هرز (برش‌دهی در سطح اردک)

Table 7- Means Comparison of paddy yield and water productivity in duck interaction and weed control (slice in duck level)

اردک Duck	کنترل علف‌هرز Weed		عملکرد شلتوک Paddy yield (kg.ha^{-1})	بهره‌وری آب Water productivity (kg.m^{-3})
بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	2420.03±148.82^{c}	0.24202±0.023^{c}
	Once	یک‌بار وجین	3355.69±92.11^{b}	0.32514±0.011^{b}
	Twice	دوبار وجین	4041.48±107.26^{a}	0.40207±0.026^{a}
۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha^{-1}	Control	شاهد	4188.13±120.08^{a}	0.48422±0.028^{a}
	Once	یک‌بار وجین	4396.96±122.67^{a}	0.51047±0.032^{a}
	Twice	دوبار وجین	4467.93±164.92^{a}	0.52078±0.037^{a}

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

میانگین±خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد ازمون LSD غیر معنی‌دار هستند.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر اصلی سال بر بهره‌وری آب

Table 8- Means comparison of the main effect of year on water productivity

سال Year		بهره‌وری آب Water productivity (kg.m^{-3})
2017-2018	۱۳۹۶-۹۷	0.424950±0.021^{a}
2018-2019	۱۳۹۷-۹۸	0.403279±0.020^{b}

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

میانگین±خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد ازمون LSD غیر معنی‌دار هستند.

محققین در مورد کشت مستقیم و نشایی برنج گزارش نمودند که نگه‌داری مداوم رطوبت خاک در حالت نزدیک به اشباع باعث کاهش پنج درصدی عملکرد شده، در حالی‌که درصد آب مصرفی در مقایسه با شرایط غرقابی و سنتی را ۳۵ درصد کاهش داده است (Tabbal *et al*., 2002). هر چند نفوذ عمقی آب در اراضی شالیزاری به دلیل وجود لایه سخت[1] خیلی کم است ولی نظام کشت توأم برنج- اردک، به دلیل تحرک اردک و نوک زدن آن، موجب گل آلود شدن آب مزارعه شالیزاری می‌شود (Rao *et al*. 2017; Mohammadi *et al*., 2012; Zhang, 2013). ذرات معلق در آب گل آلود کرت‌های شالیزار در سطح خاک رسوب کرده و موجب مسدود شدن خلل و فرج خاک می‌شود و از نفوذ آب جلوگیری می‌کنند (Hedayatipour *et al*., 2007).

1- Hard pan

فراوانی علف‌های هرز غالب منطقه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تعداد علف‌های هرز اویارسلام، سوروف، بندواش و تیر و کمان آبی تحت تاثیر اثرات ساده نظام‌های کشت، اردک، کنترل علف‌هرز، برهمکنش دوگانه نظام‌های کشت و اردک و برهمکنش سه‌گانه نظام‌های کشت، اردک و کنترل علف‌هرز قرار گرفت، تعداد سوروف، بندواش و تیر و کمان آبی تحت‌تأثیر برهمکنش دوگانه نظام‌های کشت و کنترل علف‌هرز بود. همچنین، تعداد علف هرز بندواش تحت‌تأثیر برهمکنش سال و

نظام‌های کشت، و اویارسلام، سوروف و بندواش تحت‌تأثیر برهمکنش سال و اردک (در سطح احتمال یک درصد) بود. تعداد سوروف در ترکیبات تیماری برهمکنش سال و نظام‌های کشت و بندواش در برهمکنش سال و کنترل علف‌های هرز و برهمکنش سال و اردک و کنترل علف‌های هرز اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۵). مقایسه میانگین فراوانی علف‌های هرز برنج در برهمکنش نظام‌های کشت، اردک و کنترل علف‌های هرز نشان داد که در هر سه نظام کشت، در شرایط کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار، فراوانی کلیه علف‌های هرز غالب در مزرعه برنج به‌شدت کاهش یافت (جدول ۶). در کلیه نظام‌های کشت، کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار، یک‌بار و دوبار کنترل علف‌های هرز موجب از بین رفتن کامل اویارسلام، سوروف، بندواش و تیر و کمان آبی نسبت به شرایط عدم کاربرد اردک گردید (جدول ۱۰).

جدول ۹- مقایسه میانگین بهره‌وری آب در برهمکنش نظام‌های کشت و کنترل علف‌هرز (برش‌دهی در سطح نظام‌های کشت)

Table 9- Means comparison of the water productivity in interaction of planting system and duck (slice in planting system)

نظام‌های کشت **Planting systems**	کنترل علف‌هرز **Weed**		بهره‌وری آب **Water productivity (kg.m^{-3})**
Conventional cultivation کشت متداول	Control	شاهد	0.28046±0.036^{b}
	Once	یک‌بار وجین	0.34673±0.016^{a}
	Twice	دوبار وجین	0.35893±0.021^{a}
Improved cultivation کشت بهبودیافته	Control	شاهد	0.31962±0.031^{b}
	Once	یک‌بار وجین	0.37581±0.023^{a}
	Twice	دوبار وجین	0.39186±0.017^{a}
SRI	Control	شاهد	0.48928±0.050^{b}
	Once	یک‌بار وجین	0.53086±0.049^{b}
	Twice	دوبار وجین	0.63347±0.030^{a}

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

میانگین±خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد ازمون LSD غیر معنی‌دار هستند.

مقایسه میانگین فراوانی علف‌های هرز برنج، در برهمکنش سال و اردک نشان داد که در هر دو سال زراعی ۹۷ و ۹۸ کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار موجب از بین رفتن کامل علف‌های هرز اویارسلام، سوروف و تیر و کمان آبی گردید (جدول ۱۱). مقایسه میانگین فراوانی علف هرز بندواش در برهمکنش سال، اردک و کنترل علف‌های هرز نیز نشان داد که در هر دو سال زراعی ۹۷ و ۹۸، یک‌بار و دوبار کنترل علف‌هرز در شرایط کاربرد اردک موجب از بین رفتن کامل علف‌هرز بندواش نسبت به شرایط عدم کاربرد اردک گردید (جدول ۱۲). مقایسه میانگین فراوانی علف هرز بندواش در برهمکنش سال، نظام‌های کشت و اردک نیز نشان داد که کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در کلیه نظام‌های کشت طی دو سال زراعی ۹۷ و ۹۸ موجب از بین رفتن کامل علف‌هرز بندواش نسبت به شرایط عدم کاربرد اردک گردید (جدول ۱۳). پژوهشگران نشان دادند که کاربرد اردک تأثیر بسیار معنی‌داری بر فراوانی علف‌های هرز غالب مزارع برنج از جمله؛ اوریارسلام، سوروف، بندواش و تیر و کمان آبی داشته و کاربرد اردک همراه با وجین دستی موجب کاهش چشمگیر این گونه علف‌های هرز می‌گردد (Mohammadi *et al*., 2012; Zhang *et al*., 2009; Tojo *et al*., 2004). فعالیت اردک در شالیزار موجب بهبود محیط‌زیست در سطح ریشه، ریزوسفر و افزایش قدرت رقابت برنج نسبت به علف‌های هرز مزارع برنج شده و همچنین گل‌آلود بودن آب مزرعه، ناشی از تحرک اردک، می‌تواند جوانه‌زنی علف‌های هرز و رشد گیاهچه‌های جوان را از طریق جلوگیری از رسیدن نور کافی به سطح شالیزار کنترل کند. از ویژگی‌های خوب انجام وجین دستی، توزیع لکه‌ای آن است که فقط در نقاطی که علف‌هرز به‌صورت پراکنده وجود دارد اعمال می‌شود.

استفاده از این روش به‌ویژه برای علف‌های هرزی که روی ردیف‌ها رشد کرده‌اند مؤثر است زیرا امکان کنترل آن‌ها توسط عملیات مکانیکی کمتر است. افزون بر این، در طی عملیات وجین نه‌تنها علف‌های هرز مزرعه حذف می‌شوند، بلکه با به‌هم زدن خاک هوادهی خاک بهتر صورت گرفته و نفوذ هوا به داخل خاک آسان می‌گردد (Thakur *et al*., 2011). در این میان، اردک به‌عنوان عامل بیولوژیک در مزارع برنج و ارائه مکانیسم‌های موفق در کنترل عوامل زنده خسارت‌زا (آفات و علف‌های)، نظام زراعی را به سمت پایداری در تولید و حفاظت از محیط‌زیست سوق می‌دهد (Li *et al*., 2019). بنابراین بر گسترش علف‌های هرز به‌طور مستقیم در یک نظام‌کشاورزی برنج- اردک تأثیر می‌گذارد (Hossain *et al*., 2004; Zhang *et al*. 2009). فعالیت اردک‌ها در شالیزار موجب تحریک رشد ریشه‌های برنج می‌شود؛ یک سیستم ریشه‌ای قوی برای تسهیل جذب مواد غذایی توسط ریشه را فراهم می‌کند (Quan *et al*. 2008).

جدول ۱۰- مقایسه میانگین فراوانی علف‌های هرز برنج در برهمکنش نظام‌های کشت، اردک و کنترل علف‌های هرز (برش‌دهی در سطح نظام‌های کشت و اردک)

Table 10- Means comparison of the weed abundance of Rice in interaction of planting system, duck and weed control (slice in planting system and duck levels)

نظام‌های کشت Planting systems	اردک Duck	کنترل علف‌هرز Weed		اویارسلام Umberella sedge (No. m^{-2})	سوروف Barnyard grass (No. m^{-2})	بندواش Knot weed (No. m^{-2})	تیر و کمان آبی Arrow leaf (No. m^{-2})
کشت متداول CC	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	111.98±8.45^{a}	202.42±23.15^{a}	47.32±3.25^{a}	0.44±0.27^{b}
		Once	یک‌بار وجین	51.31±7.26^{b}	35.09±6.33^{b}	12.87±1.90^{b}	3.09±0.28^{a}
		Twice	دوبار وجین	27.54±3.45^{c}	9.99±0.74^{b}	0.66±0.29^{c}	0.00±0.00^{b}
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha^{-1}	Control	شاهد	0.44±0.43^{a}	6.20±1.17^{a}	0.00±0.00^{a}	1.10±0.40^{a}
		Once	یک‌بار وجین	2.44±1.76^{a}	5.31±0.68^{a}	0.00±0.00^{a}	0.00±0.00^{b}
		Twice	دوبار وجین	0.00±0.00^{a}	3.32±0.57^{a}	0.00±0.00^{a}	0.00±0.00^{b}
کشت بهبودیافته IC	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	159.09±17.88^{a}	71.76±8.55^{a}	50.64±3.57^{a}	2.42±0.41^{ab}
		Once	یک‌بار وجین	61.53±7.82^{b}	16.64±2.61^{b}	11.98±1.38^{b}	3.54±0.44^{a}
		Twice	دوبار وجین	24.65±3.65^{c}	9.54±2.24^{b}	1.32±0.34^{c}	1.32±0.34^{b}
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha^{-1}	Control	شاهد	0.44±0.43^{a}	1.54±0.40^{ab}	0.00±0.00^{a}	0.22±0.21^{a}
		Once	یک‌بار وجین	2.00±1.99^{a}	1.99±0.95^{a}	0.00±0.00^{a}	0.00±0.00^{a}
		Twice	دوبار وجین	0.00±0.00^{a}	0.88±0.43^{b}	0.00±0.00^{a}	0.00±0.00^{a}
SRI	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	294.20±23.14^{a}	171.31±13.16^{a}	22.87±2.60^{a}	4.43±0.44^{a}
		Once	یک‌بار وجین	278.20±24.43^{a}	60.20±11.22^{b}	13.98±2.03^{b}	3.32±0.30^{ab}
		Twice	دوبار وجین	251.76±19.38^{a}	15.98±4.59^{c}	5.54±0.93^{c}	3.09±0.28^{b}
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha^{-1}	Control	شاهد	14.20±2.77^{a}	23.09±5.49^{a}	2.43±0.80^{a}	3.09±0.28^{a}
		Once	یک‌بار وجین	0.44±0.43^{b}	8.42±1.48^{b}	0.00±0.00^{b}	0.00±0.00^{b}
		Twice	دوبار وجین	0.67±0.66^{b}	5.76±1.07^{b}	0.00±0.00^{b}	0.00±0.00^{b}

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

میانگین±خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد ازمون LSD غیر معنی‌دار هستند.

جدول ۱۱- مقایسه میانگین فراوانی علف‌های هرز برنج در برهمکنش سال و اردک (برش‌دهی در سطح سال)

Table 11- Means comparison of the weed abundance of Rice in interaction of year and duck (slice in year levels)

سال Year	اردک Duck	اویارسلام Umberella sedge (No. m^{-2})	سوروف Barnyard grass (No. m^{-2})	تیر و کمان آبی Arrow leaf (No. m^{-2})
2017-2018 ۱۳۹۶-۹۷	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	122.15±18.36^{a}	54.30±12.59^{a}	2.65±0.31^{a}
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha^{-1}	1.38±0.75^{b}	4.18±0.86^{b}	0.44±0.20^{b}
2018-2019 ۱۳۹۷-۹۸	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	157.90±23.45^{a}	77.46±15.22^{a}	2.16±0.30^{a}
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha^{-1}	3.20±1.20^{b}	8.38±1.90^{b}	0.54±0.21^{b}

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

میانگین±خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد ازمون LSD غیر معنی‌دار هستند.

در بررسی ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک برنج در دو نظام کشت متداول و SRI در هندوستان گزارش شد که فراوانی علف‌های هرز و میزان عملکرد شلتوک برنج در نظام کشت SRI افزایش داشته، که علت افزایش عملکرد به بهبود ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک برنج در این نظام مرتبط بود، در حالی‌که اردک با تغذیه از علف‌های هرز سبب کاهش فراوانی و زیست‌توده آن‌ها و همچنین افزودن مکمل‌های نیتروژن، فسفر و پتاسیم گردید (Thakur *et al*., 2011; Li *et al*., 2019). گزارش‌های متعددی نشان از نقش بسیار مهم و مؤثر اردک در کنترل فراوانی علف‌های

هرز مزارع برنج به‌عنوان عامل بیولوژیک دارد (Teng *et al.*, 2016).

جدول ۱۲- مقایسه میانگین فراوانی و وزن خشک علف‌های هرز برنج در برهمکنش سال، اردک و کنترل علف‌های هرز (برش‌دهی در سطح سال و اردک)

Table 12- Means comparison of the weed dry weight and abundance of Rice in interaction of planting system, duck and weed control (slice in year and duck levels)

سال Year	اردک Duck	کنترل علف‌هرز Weed		بندواش Knot weed (No. m^{-2})	وزن خشک اویار سلام DW of Umberella sedge ($g.m^{-2}$)	وزن خشک تیر و کمان آبی DW of Arrow leaf ($g.m^{-2}$)
2017-2018 ۱۳۹۶-۹۷	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	35.68±4.66^{a}	56.99±8.60^{a}	11.45±2.45^{a}
		Once	یک‌بار وجین	11.53±1.57^{b}	23.71±5.27^{b}	8.93±1.36^{a}
		Twice	دوبار وجین	2.06±0.70^{c}	17.12±5.21^{b}	6.71±1.92^{a}
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha^{-1}	Control	شاهد	0.74±0.59^{a}	2.05±1.08^{a}	1.16±0.38^{a}
		Once	یک‌بار وجین	0.00±0.00^{a}	0.04±0.04^{b}	0.00±0.00^{b}
		Twice	دوبار وجین	0.00±0.00^{a}	0.00±0.00^{b}	0.00±0.00^{b}
2018-2019 ۱۳۹۷-۹۸	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	44.87±4.89^{a}	70.24±9.84^{a}	9.96±2.63^{a}
		Once	یک‌بار وجین	14.35±1.10^{b}	33.22±6.98^{b}	7.82±1.20^{a}
		Twice	دوبار وجین	2.95±0.96^{c}	21.30±6.25^{b}	2.17±1.10^{b}
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 No.ha^{-1}	Control	شاهد	0.88±0.49^{a}	3.20±1.50^{a}	0.97±0.26^{a}
		Once	یک‌بار وجین	0.00±0.00^{b}	0.37±0.20^{b}	0.00±0.00^{b}
		Twice	دوبار وجین	0.00±0.00^{b}	0.13±0.13^{b}	0.00±0.00^{b}

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

میانگین±خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد ازمون LSD غیر معنی‌دار هستند.

جدول ۱۳- مقایسه میانگین فراوانی علف‌های هرز برنج در برهمکنش سال، نظام‌های کشت و اردک (برش‌دهی در سطح سال و نظام‌های کشت)

Table 13- Means comparison of the weed abundance of Rice in interaction of year, planting system and duck (slice in year and planting system levels)

سال Year	نظام‌های کشت Planting systems	اردک Duck		بندواش Knot weed (No. m^{-2})
2017-2018 ۱۳۹۶-۹۷	کشت متداول Conventional cultivation	Control	بدون اعمال اردک	21.35±5.34^{a}
		750 No.ha^{-1}	۷۵۰ قطعه در هکتار	0.04±0.04^{b}
	کشت بهبودیافته Improved cultivation	Control	بدون اعمال اردک	19.07±4.97^{a}
		750 No.ha^{-1}	۷۵۰ قطعه در هکتار	0.00±0.00^{b}
	SRI	Control	بدون اعمال اردک	57.39±8.62^{a}
		750 No.ha^{-1}	۷۵۰ قطعه در هکتار	2.05±1.08^{b}
2018-2019 ۱۳۹۷-۹۸	کشت متداول Conventional cultivation	Control	بدون اعمال اردک	27.56±6.20^{a}
		750 No.ha^{-1}	۷۵۰ قطعه در هکتار	0.27±0.18^{b}
	کشت بهبودیافته Improved cultivation	Control	بدون اعمال اردک	25.10±6.47^{a}
		750 No.ha^{-1}	۷۵۰ قطعه در هکتار	0.27±0.17^{b}
	SRI	Control	بدون اعمال اردک	72.11±9.60^{a}
		750 No.ha^{-1}	۷۵۰ قطعه در هکتار	3.17±1.51^{b}

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

میانگین±خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد ازمون LSD غیر معنی‌دار هستند.

وزن خشک علف‌های هرز غالب

وزن خشک علف‌های هرز اویارسلام، سوروف، بندواش و تیروکمان آبی، همچنین وزن خشک کل علف‌های هرز موجود در مزرعه تحت‌تأثیر تیمارهای نظام‌های کشت، اردک، کنترل علف‌هرز، برهمکنش نظام‌های کشت و اردک، نظام‌های کشت و کنترل علف‌هرز، اردک و کنترل علف‌هرز، نظام‌های کشت، اردک و کنترل علف‌هرز قرار گرفت (جدول ۱۴). همچنین وزن خشک تیر و کمان آبی تحت‌تأثیر سال و وزن خشک اویارسلام تحت‌تأثیر سال، برهمکنش‌های سال و اردک و سال و کنترل علف‌هرز در سطح احتمال یک درصد و وزن خشک سوروف از نظر سال و وزن خشک

اویارسلام از نظر سال و برهمکنش‌های سال، نظام‌های کشت و سال، اردک و کنترل علف‌های هرز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۴).

مقایسه میانگین وزن خشک علف‌های هرز برنج در برهمکنش نظام‌های کشت، اردک و کنترل علف‌های هرز نشان داد که در هر سه نظام کشت، در شرایط کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار، وزن خشک کلیه علف‌های هرز غالب در مزرعه برنج به‌شدت کاهش یافت (جدول ۱۵). در کلیه نظام‌های کشت، کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار، یک‌بار و دوبار کنترل علف‌های هرز موجب کاهش شدید و یا از بین رفتن کامل اویارسلام، سوروف، بندواش و تیر و کمان آبی و وزن خشک کل علف‌های هرز نسبت به شرایط عدم کاربرد اردک گردید (جدول ۱۵). مقایسه میانگین وزن خشک علف‌های هرز اویارسلام و تیر و کمان آبی در برهمکنش سال، اردک و کنترل علف‌های هرز نیز نشان داد که در هر دو سال زراعی ۹۷ و ۹۸، یک‌بار و دوبار کنترل علف‌هرز در شرایط کاربرد اردک موجب کاهش شدید و یا از بین رفتن کامل علف‌های هرز اویارسلام و تیر و کمان آبی نسبت به شرایط عدم کاربرد اردک گردید (جدول ۱۲).

جدول ١٤- تجزیه واریانس اثرات کشت توأم برنج-اردک در نظام‌های مختلف کشت بر وزن خشک علف‌های هرز در برنج

Table 14- Analysis of variance (mean squares) for the effects of rice-duck cultivation in different planting system on Weeds dry weight in Rice

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی d.f	وزن خشک اویارسلام Dry weight of Umberella sedge	وزن خشک سوروف Dry weight of Barnyard grass	وزن خشک بندواش Dry weight of Knot weed	وزن خشک نیر و کمان آبی Dry weight of Arrow leaf	وزن خشک کل علف‌های هرز Total weed dry weight
سال (Y)	1	611.50**	2214.09*	3.40ns	40.23**	1052.96ns
Error (Y) خطای سال	4	1.62	329.04	2.93	0.83	391.22
نظام‌های کشت (PS)	2	5806.32**	105480.49**	162.91**	250.62**	134269.40**
Y×PS	2	67.33**	196.88ns	0.88ns	2.59ns	660.55ns
Error (A) خطای اصلی	8	4.12	248.64	1.90	1.39	355.85
اردک (D)	1	35244.88**	884944.95**	4485.90**	1512.75**	1775812.13**
PS×D	2	4577.63**	24425.15**	231.39**	283.50**	27229.10**
کنترل علف‌هرز (W)	2	5559.31**	454333.34**	1748.87**	121.18**	747558.45**
PS×W	4	243.42**	11627.80**	352.77**	21.99**	6867.93**
D×W	2	4358.29**	298624.49**	1548.87**	66.18**	516856.18**
PS×D×W	4	53.33**	15369.24**	451.70**	28.88**	20020.30**
Y×D	1	481.75**	439.61ns	2.67ns	36.22**	142.22ns
Y×PS×D	2	44.90*	18.57ns	0.99ns	3.24ns	387.51ns
Y×W	2	57.40**	170.31ns	1.91ns	7.60ns	62.43ns
Y×PS×W	4	1.57ns	78.18ns	1.42ns	6.07ns	41.93ns
Y×D×W	2	37.44*	198.59ns	1.38ns	8.36ns	128.52ns
Y×PS×D×W	4	2.81ns	58.01ns	1.79ns	5.99ns	47.59ns
Error (B) خطای باقی‌مانده	60	10.24	369.07	4.15	3.25	314.82
CV (%) ضریب تغییرات (درصد)	-	16.8	16.55	30.5	43.9	11.3

*, Significant at the 0.05 probability levels. **, Significant at the 0.01 probability levels. ns, not significant

*، معنی‌داری در سطح پنج درصد، **، معنی‌داری در سطح یک درصد، ns، غیر معنی‌دار

محققین در بررسی تأثیر کاربرد اردک همره با وجین دستی در مزارع برنج به این نتیجه رسیدند که وزن خشک علف‌های هرز غالب مزارع برنج به همراه وزن خشک کل زیست‌توده علف‌های هرز برنج تحت تأثیر معنی‌دار کاربرد اردک و وجین قرار داشته و به‌عنوان عاملی مؤثر در کنترل علف‌های هرز شناخته شده است (Long *et al*., 2013; Furuno, 1996; Quan *et al*., 2008). اردک در برخی از کرت‌ها، وزن خشک علف‌های هرز همچون؛ بندواش، تیر و کمان آبی و اویارسلام کاهش داد. همچنین، از طریق تغذیه از بذر و گیاهچه‌های جوان و تازه سبز شدهٔ سوروف و با گل آلود کردن آب به کمک منقار و شکل خاص پاهای خود، مانع از رشد علف‌های هرز سوروف در شالیزار شده و به‌طور چشم‌گیری بر تراکم علف هرز سوروف تأثیر گذاشته است (Mohammadi *et al*. 2012). اثر اردک روی کاهش زیست‌توده علف‌های هرز در اثر حرکت و جستجو برای یافتن غذا توسط محققین گزارش شده است (Endriany, 2018). بررسی نتایج دو نظام کشت متداول و کشت SRI نشان داد که کاهش وزن خشک علف‌های هرز موجود در مزارع برنج در نظام کشت SRI به افزایش راندمان تولید از طریق تلفیق فعالیت‌های مدیریتی گیاه، آب، خاک، تغذیه، علف‌های هرز و اجرای توأم آن‌ها نسبت داده شد (Styger *et al*., 2011). اثر کنترلی نظام برنج و پرورش اردک بر پهن‌برگ‌ها و جگن‌ها بسیار بهتر از علف‌های هرز نازک برگ است (Qu, 2010). اردک با کنترل مستقیم از طریق تغذیه از بذر علف هرز سوروف و گیاهچه‌های جوان، کوچک و تازه سوروف که در زیر آب قرار دارند، موجب کاهش تراکم و زیست‌توده آن می‌شود. نتایج نشان داده است

که اثر کنترلی روی علف‌های هرز با تعداد اردک چرانیده رابطه دارد و تعداد بیشتری از اردک‌ها موجب می‌شود که تراکم علف‌های‌هرز کاهش داشته باشد که مفهوم آن اثر معنی‌دار کنترل علف هرز است (Long *et al.*, 2013).

جدول ۱۵- مقایسه میانگین وزن خشک علف‌های هرز برنج در برهمکنش نظام‌های کشت، اردک و کنترل علف‌های هرز (برش‌دهی در سطح نظام‌های کشت و اردک)

Table 15- Means comparison of the weed dry weight of Rice in interaction of planting system, duck and weed control (slice in planting system and year levels)

نظام‌های کشت Planting system	اردک Duck	کنترل علف‌هرز Weed		وزن خشک اویارسلام Dry weight of Umberella sedge ($g.m^{-2}$)	وزن خشک سوروف Dry weight of Barnyard grass ($g.m^{-2}$)	وزن خشک بندواش Dry weight of Knot weed ($g.m^{-2}$)	وزن خشک تیر و کمان آبی Dry weight of Arrow leaf ($g.m^{-2}$)	وزن خشک کل علف‌های هرز Total weed dry weight ($g.m^{-2}$)
کشت متداول Conventional Cultivation	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	47.05±2.54[a]	494.54±10.98[a]	36.41±1.49[a]	1.37±0.86[b]	596.11±11.38[a]
		Once	یک‌بار وجین	16.46±1.56[b]	78.55±3.40[b]	7.27±0.95[b]	5.01±0.56[a]	113.25±2.61[b]
		Twice	دوبار وجین	9.86±0.70[c]	30.52±2.44[c]	0.53±0.24[c]	0.00±0.00[b]	42.41±2.72[c]
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 $No.ha^{-1}$	Control	شاهد	0.16±0.16[a]	17.77±1.72[a]	0.00±0.00[a]	1.29±0.43[a]	21.37±1.96[a]
		Once	یک‌بار وجین	0.30±0.23[a]	9.27±1.29[b]	0.00±0.00[a]	0.00±0.00[b]	10.37±0.62[b]
		Twice	دوبار وجین	0.00±0.00[a]	2.81±0.38[c]	0.00±0.00[a]	0.00±0.00[b]	3.03±0.32[c]
کشت بهبودیافته Improved Cultivation	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	43.90±3.02[a]	323.90±10.86[a]	40.97±2.09[a]	18.33±0.96[a]	529.93±11.82[a]
		Once	یک‌بار وجین	16.28±1.58[b]	45.25±2.19[b]	8.33±0.70[b]	12.54±1.26[b]	87.16±2.99[b]
		Twice	دوبار وجین	6.08±0.72[c]	21.47±2.11[c]	1.03±0.24[c]	8.02±2.06[b]	39.08±2.41[c]
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 $No.ha^{-1}$	Control	شاهد	0.16±0.16[a]	10.83±2.68[a]	0.00±0.00[a]	0.17±0.16[a]	12.16±2.88[a]
		Once	یک‌بار وجین	0.23±0.23[a]	3.64±1.65[b]	0.00±0.00[a]	0.00±0.00[a]	4.21±1.94[b]
		Twice	دوبار وجین	0.00±0.00[a]	2.37±1.12[b]	0.00±0.00[a]	0.00±0.00[a]	2.89±1.33[b]
SRI	بدون اعمال اردک Un-Use Duck	Control	شاهد	99.90±4.99[a]	491.97±11.67[a]	8.05±0.52[a]	12.41±0.26[a]	625.60±12.96[a]
		Once	یک‌بار وجین	52.65±4.13[b]	271.32±15.70[b]	8.38±0.52[a]	7.58±0.61[b]	359.46±11.10[b]
		Twice	دوبار وجین	41.70±2.75[c]	101.55±11.58[c]	7.20±0.99[a]	5.30±2.00[c]	171.21±10.88[c]
	۷۵۰ قطعه در هکتار 750 $No.ha^{-1}$	Control	شاهد	7.56±1.06[a]	120.14±12.56[a]	2.17±0.69[a]	1.74±0.24[a]	134.25±12.56[a]
		Once	یک‌بار وجین	0.08±0.08[b]	40.34±5.50[b]	0.00±0.00[b]	0.00±0.00[b]	44.14±4.46[b]
		Twice	دوبار وجین	0.20±0.19[b]	22.53±2.65[b]	0.00±0.00[b]	0.00±0.00[b]	23.66±2.57[b]

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

میانگین±خطای استاندارد، ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال پنج درصد ازمون LSD غیر معنی‌دار هستند.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی از آزمایش فوق می‌توان دریافت که کاربرد توأم اردک در نظام‌های مختلف کشت موجب کاهش فراوانی و زیست‌توده علف‌های هرز غالب مزارع برنج در مناطق مرکزی استان گیلان خواهد شد و می‌تواند در کاهش هزینه‌های تولید برنج که قسمت اعظم آن در کنترل علف‌های هرز مصرف می‌گردد، مؤثر باشد. همچنین، استفاده از یک نظام کشت مؤثر جهت پیش‌برد اهداف کشاورزی پایدار جهت حصول بیشترین میزان عملکرد شلتوک و بهره‌وری آب برای شالیزارهای شمال کشور به‌ویژه استان گیلان مورد توجه است.

References

1. Abdul-Rahman, S., Saoud, I. P., Owaied, M. K., Holail, H., Farajalla, N., Haidar, M., and Ghanawi, J. 2011. Improving water use efficiency in semi-arid regions through integrated aquaculture/agriculture. Journal of Applied Aquaculture 23: 212-230.
2. Ahmed, N., Ward, J. D., and Saint, C. P. 2014. Can integrated aquaculture-agriculture (IAA) produce “more crop per drop”?. Food Security 6 (6): 767-779.
3. Bouman, B. A. M., Lampayan, R. M., and Tuong, T. P. 2007. Water management in irrigated rice: coping with water scarcity. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute, 54 pp.
4. Dass, A., Chandra, S., Choudhary, A. K., Singh, G., and Sudhishri, S. 2016. Influence of field re-ponding pattern and plant spacing on rice rooteshoot characteristics, yield, and water productivity of two modern cultivars under SRI management in Indian Mollisols. Paddy Water Environ 14: 45-59.
5. Deng, Q. H., and Pan, X. H. 2008. Effects of rice-duck mutualism on diseases insect pests and weeds and economic benefits. Journal of Anhui Agricultural Sciences 36: 7752-7755.
6. Endriany, E. 2018. Effects of duck density and foraging frequency on rice production systems in East Java, Indonesia. MSc Thesis, University of Wageningen, The Netherlands 35PP.

7. FAO, 2018. FAO statistical database. Available at: www.fao.org.
8. Farooq, M., Kobayashi, N. K., Wahid, A., Ito, O., and Basra, S. M. A. 2009. Strategies for producing more rice with less water. Advance Agron 101: 351-388.
9. Flohre, A., Rudnick, M., Traser, G., Tscharntke, T., and Eggers, T. 2011. Does soil biota benefit from organic farming in complex vs. Simple Landscapes Agriculture, Ecosystems and Environment 141 (1-2): 210-214.
10. Furuno, T. 1996. Significance and practice of integrated rice cultivation and duck farming-sustainable agriculture. Kyushu International Center, Japan International Cooperation Agency and Kitakyushu Forum on Asian Women. pp. 12.
11. Hedayatipour, A., and Bahrami, M. 2007. The effect of padding frequency on specific apparent weight and water permeability and rice yield in paddy feilds. Third Student Conference on Agricultural Machinery Engineering, Shiraz University.
12. Hossain, S., Sugimoto, H., Uddin Ahmed, G. J., and Islam, M. R. 2004. Effect of integrated rice-duck farming on rice yield, farm productivity, and rice-provisioning ability of farmers. Asian Journal of Agriculture and Development 2 (1): 79-86.
13. Huang, Z., Tang, X., Wang, Y., Chen, M., Zhao, Z., Duan, M., and Pan, S. 2012. Effects of increasing aroma cultivation on aroma and grain yield of aromatic rice and their mechanism. Scientia Agricultura Sinica 45 (6): 1054-1065
14. Kumar, A., Nayak, A. K., Das, B. S., Panigrahi, N., Dasgupta, P., Mohanty, S., Kumar, U., Panneerselvam, P., and Pathak, H. 2019. Effects of water deficit stress on agronomic and physiological responses of rice and greenhouse gas emission from rice soil under elevated atmospheric CO_2. Science of the Total Environment 650: 2032-2050.
15. Lamour, A., and Lotz, L. A. P. 2007. The importance of tillage depth in relation to seedling emergence in stale seedbeds. Ecological Modeling 201 (3-4): 536-546.
16. Li, M., Li, R., Liu, S., Zhang, J., Luo, H., and Qiu, S. 2019. Rice-duck co-culture benefits grain 2-acetyl-1-pyrroline accumulation and quality and yield enhancement of fragrant rice. The Crop Journal 7: 419-430.
17. Liang, K., Zhang, J., Song, C., Luo, M., Zhao, B., Quan, G., and An, M. 2014. Integrated management to control golden apple snails (*Pomacea canaliculata*) in direct seeding rice fields: An approach combining water management and rice-duck farming. Agroecology and Sustainable Food Systems 38: 264-282.
18. Long, P., Huang, H., Liao, X., Fu, Z., Zheng, H., Chen, A., and Chen, C. 2013. Mechanism and capacities of reducing ecological cost through rice–duck cultivation. Journal of the Science of Food and Agriculture 93: 2881-2891.
19. Lopes, A. R., Faria, C., Fernandez, A. P., Cepeda, C. T., Manaia, C. M., and Nunes, O. C. 2011. Comparative study of the microbial diversity of bulk paddy soil of two rice fields subjected to organic and conventional farming. Soil Biology and Biochemistry 43: 115-125.
20. Lu, J. X., Zhang, J. E., and Huang, Z. X. 2005. Anauxiliary control methodof rice–duck farming system leaf roller: the rope scraping of rice tail. China Rice 3: 39-46.
21. Ministry of Agriculture. 2018. Programs and Achievements. Achievements of the agricultural sector in the twelfth government. Available at: http://www.pr.maj.ir/portal/Home/. (in Persian).
22. Mohammadi, M., Pirdashti, H., Aqajani mazandarani, M., and Musavi taghany, S. Y. 2012. Performance evaluation as an agent of biological diversity and density of duck weed in cultivated rice combination- ducks. Journal of Agricultural Ecology 4 (4): 335-346. (in Persian with English abstract).
23. Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M. A., and Kijne, J. 2010. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. Agricultural Water Management 97: 528-535.
24. Monaco, F., and Sali, G. 2018. How water amounts and management options drive Irrigation Water Productivity of rice. A multivariate analysis based on field experiment data. Agricultural Water Management 195: 47-57.
25. Nayak, A., and Biswal, S. 2018. Performance of Rice in Modified Conventional System over System of Rice Intensification (SRI). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 6: 2163-2168.
26. Qu, J. L. 2010. Research on rice-duck commensalisms to control weed and Pests. Heilongjiang Agricultural Science 6: 67-69.
27. Quan, G. M., Zhang, J. E., Teng, L. L., Chen, R., and Xu, R. B. 2008. Effects of integrated Rice-duck farming on rice root growth. Journal South China Agricultural University 29: 1-5.
28. Randriamibarisoa, R. P. 2002. Research results on biological nitrogen fixation with the system of rice intensification. Proceedings of an International Conference on the system of rice intensification (SRI) held in Sanya, china.
29. Randriamiharisoa, R., Barison, J., and Uphoff, N. 2007. Soil biological contributions to the system of rice intensification. Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development.
30. Rao, K. V. R., Gangwar, S. K., Chourasia, L. B. R., and Soni, K. A. 2017. Effects of drip irrigation system for Enhancing Rice. Yield Under System of Rice Intensification Management. Applied Ecology and Environmental Research 15: 487-495.

31. Rehman, H. U., Aziz, T., Farooq, M., Wakeel, A., and Rengel, Z. 2012. Zinc nutrition in rice production systems: a review. Plant and Soil 361 (1-2): 203-226.
32. Roderick, M., Florencia, G. R., Rodriguez, G. D. P., Lampayan, R. M., and Bouman, B. A. M. 2011. Impact of the alternate wetting and drying (AWD) water-saving irrigation technique: Evidence from rice producers in the Philippines. Food Policy 36 (2): 280-288.
33. Sepaskhah, A. R., Tavakko, A. R., and Mosavi, F. 2006. Preciples and application of deficit irrigation. Iranian National Committee of Irrigation and Drainage Press, 1th Ed. 288 pp. (in Persian).
34. Sheng, F., Cao, C., and Li, C. 2018. Integrated rice-duck farming decreases global warming potential and increases net ecosystem economic budget in central China. Environmental Science and Pollution Research 23: 22744-22753.
35. Singh, Y., Humphreys, E., Kukal, S. S., Singh, B., Kaur, A., Thaman, S., Prashar, A., Yadav, S., Timsina, J., Dhillon, S. S., and Kaur, N. 2009. Crop performance in permanent raised bed rice-wheat cropping system in Punjab, India. Field Crops Research 110 (1): 1-20.
36. Styger, E., Attaher, M. A., Guindo, H., Ibrahim, H., Diaty, M., Abba, I., and Traore, M. 2011. Application of system of rice intensification practices in the arid environment of the Timbuktu region in Mali. Paddy and Water Enviroment 9: 137-144.
37. Tabbal, D. F., Bouman, B. A. M., Bhuiyan, S. I., Sibayan, E. B., and Sattar, M. A. 2002. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philippines. Agricultural Water Management 56: 93-112.
38. Teng, Q., Hu, X. F., Cheng, C., Luo, F., Xue, Y., Jiang, Y., Mu, Z., Liu, L., and Yang, M. 2016. Ecological effects of rice-duck integrated farming on soil fertility and weed and pest control. Journal of Soils and Sediments 16: 2395-2407.
39. Thakur, A. K., Sreelata Rath, D. U., and Patil Ashwani, K. 2011. Effects of rice plant morphology and phsiology of water and associated management practices of the system of rice intensification and their implications for crop performance. Paddy and Water Enviroment 9: 13-24.
40. Tojo, S., Yoshizawa, M., Motobayashi, T., and Watanabe, K. 2004. Effects of loosing Aigamo ducks on the growth of rice plants, weeds, and the number of arthropods in paddy fields. Weed Biology and Management 7: 38-43.
41. Uphoff, N. 2005. Features of the system of rice intensification (SRI) apart from increases in yield. Cornell international institute for food, Agriculture and development.
42. Vergara, B. S., puranabhavung, S., and Lilis, R. 1965. Faktors determining the growth duration of rice varieties. Phyton 22: 177-185.
43. Wei, H., Bai, W., Zhand, J., Chen, R., Xiang, H., and Quan, G. 2019. Integrated Rice-Duck Farming Decreases Soil Seed Bank and Weed Density in a Paddy Field. Agronomy Journal 9 (5): 259
44. Yang, H., YU, D., Zhou, J., Zhai, S., Bian, X., and Weih, M. 2018. Rice-duck co-culture for reducing negative impacts of biogas slurry application in rice production systems. Journal of Environmental Management 213: 142-150.
45. Yu, S. M., Ouyang, Y. N., Zhang, Q. Y., Peng, G. D., Xu, H., and Jin, Q. Y. 2005. Effects of rice-duck farming system on *Oryza sativa* growth and its yield. Chinese Journal of Applied Ecology 16 (7): 1252-1256.
46. Zhang, J. 2013. Progresses and perspective on research and practice of rice-duck farming in China. Chinese Journal of Eco-Agriculture 1: 70-79
47. Zhang, J. E., Xu, R., Chen, X., and Quan, G. 2009. Effects of duck activities on a weed community under a Transplanted rice-duck farming system in southern China. Weed Biology and Management 9: 250-257.
48. Zhang, J., Quan, G., Huang, Z., and Luo, S. 2013. Evidence of duck activity induced anatomical structure change and lodging resistance of rice plant. Agroecology and Sustainable Food Systems 37: 975-984.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 3, Fall. 2020, p. 341-355

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۳۵۵-۳۴۱

Effect of Rice-Duck co-Cultivation on Rice Yield, Water Productivity and Weed Control in Different Cultivation Systems

K. Mansour Ghanaei-Pashaki[1], Gh. Mohsen-abadi[2*], M. H. Biglouei [3], M. B. Farhangi[4]

Received: 21-04-2020
Accepted: 27-10-2020

Introduction

Rice-duck cultivation is an integrated farming technology, which could increase rice production, grain quality and ecological sustainability in paddy fields. One of the main strategies in sustainable agriculture is the use of optimal cultivation systems in agricultural systems which could be increased the range of adaptation of rice to flooding depth and degree of moisture control. Rice-duck cultivation could be affective to weed control as well as reducing environmental pollution which caused by herbicides and providing the development of environmentally friendly agriculture. It should be noted that traditional and conventional cultivation systems have been faced with problems such as permanent flooding of paddy fields, soil erosion, resistance to pests and pathogens and weeds to chemical pesticides, and environmental pollution. Moreover, they require a lot of labor and water, and high energy, which has increased the need to pay attention to new approach. Studies have showed that the application of effective methods in water productivity, including SRI due to improved irrigation management in the field in terms decreased drainage water, permeability and the consequences of conventional cultivation and increasing soil fertility (duck) can significantly increase the water productivity. The aim of this study was to investigate the effect of duck application and weed control in different planting systems on yield and abundance of dominant weeds under field conditions.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a split plot factorial in a randomized complete block design with three replications during two years of 2017-2018 and 2018-2019 at Guilan University. Treatments included three different cultivation systems (conventional, improved, and SRI) as the main factor, and factorial combination of two duck density (un-use and 750 No ha^{-1}) and three weed control (control (un-weed control), once and twice of weed control) as the sub factor. The experiment had three replications and the length of each plot was 4.5 meters and the width was 4 meters. In order to carry out the experiment, first plowing in the land to a depth of 20 to 25 cm with a rotator and paddling with a tiller was done according to the custom of the farmers of the region. In all plots, 80% of the recommended fertilizer was applied in SRI system after deducting the values of cow.

Results and Discussion

The results showed that abundance and dry biomass of weeds (Umbrella sedge, Barnyard grass, Knot weed and Arrow leaf) were significant in terms of planting system. In all planting systems, 750 ducks ha^{-1}, once and twice weed control, caused complete loss of ovaries, Umbrella sedge, Barnyard grass, Knot weed, and Arrow leaf due to ducks' non-use conditions. 750 ducks ha^{-1} compared to un-use duck in conventional, improved and SRI planting systems increased grain yield of 21.61, 20.80 and 30.84%, respectively. Also, the application of 750 ducks ha^{-1} in compared to the conditions of un-used of duck in the cultivation systems of conventional, improved and SRI, increased by 34.80, 33.01, and 38.69% of water productivity, respectively, while there was no significant difference between different levels of weed control in the 750 ducks ha^{-1} in terms of water productivity.

Conclusions

In general, duck increased plant growth, improved power of rice and finally increased rice yield by proper weed control in the field with muddy water and beak, as well as adding rubbish to the paddy field. According to the results of this study, probably do once the initial hand weeding to control dominant weeds in SRI rice cultivation system with 750 ducks ha^{-1} to improve rice production systems and to increase water productivity in fields of Guilan province is appropriate.

Keywords: Hashemi cultivar, Rice-Duck, SRI cultivation system, Weeding

1- PhD. Student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Guilan University, Rasht, Iran
2- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Guilan University, Rasht, Iran
3- Associate Professor, Department of water engineering, Faculty of Agricultural Sciences, Guilan University, Rasht, Iran
4- Assistant Professor, Department of Soil science, Faculty of Agricultural Sciences, Guilan University, Rasht, Iran
(*- Corresponding Author Email: mohsenabadi@guilan.ac.ir)